

## **JP2004111360**

Publication Title:

**SWITCH**

Abstract:

Abstract of JP2004111360

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a switch capable of reducing a response time and reducing a voltage being applied.

**SOLUTION:** A switch comprises voltage applying means for respectively providing direct current potentials to first to third beams 1 to 3 arranged with a spacing slightly distant one from another, and electrodes 4 to 9 for inputting/outputting AC signals to/from the respective beams. The positions of the respective beams 1 to 3 are changed by an electrostatic force so as to change a capacitance between the beams 1 to 3. By causing an electrostatic force between the first and second beams 1 and 2 and moving the both beams, the first and second beams 1 and 2 can be electrically coupled together at high speed. Also, an electrostatic force is caused on the third beam 3 arranged facing to the second beam 2, to previously place it close to the first and second beams 1 and 2. When the electrostatic force is released from between the first and second beams 1 and 2, the second beam moves toward the third beam thereby releasing the electric coupling of the first and second beams.

**COPYRIGHT:** (C)2004,JPO

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide be1

---

Courtesy of <http://v3.espacenet.com>

*This Patent PDF Generated by Patent Fetcher(TM), a service of Stroke of Color, Inc.*

Patent provided by Sughrue Mion, PLLC - <http://www.sughrue.com>

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-111360

(P2004-111360A)

(43) 公開日 平成16年4月8日(2004. 4. 8)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H01H 59/00

B81B 3/00

// H01H 49/00

F I

H01H 59/00

B81B 3/00

H01H 49/00

テーマコード (参考)

J

審査請求 未請求 請求項の数 30 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2003-184204 (P2003-184204)  
 (22) 出願日 平成15年6月27日 (2003. 6. 27)  
 (31) 優先権主張番号 特願2002-217872 (P2002-217872)  
 (32) 優先日 平成14年7月26日 (2002. 7. 26)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)  
 (31) 優先権主張番号 特願2002-217873 (P2002-217873)  
 (32) 優先日 平成14年7月26日 (2002. 7. 26)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000005821  
 松下電器産業株式会社  
 大阪府門真市大字門真1006番地  
 (74) 代理人 100097445  
 弁理士 岩橋 文雄  
 (74) 代理人 100103355  
 弁理士 坂口 智康  
 (74) 代理人 100109667  
 弁理士 内藤 浩樹  
 (72) 発明者 中西 淑人  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下  
 電器産業株式会社内  
 (72) 発明者 中村 邦彦  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下  
 電器産業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スイッチ

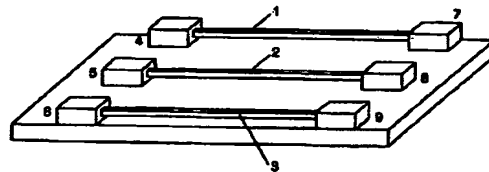
## (57) 【要約】

【課題】 応答時間の短縮および印加電圧の低電圧化が実現できるスイッチを提供する。

【解決手段】 互いに僅かに離れた間隔で配置された第1の梁1、第2の梁2および第3の梁3に静電力を印加させるために独立に直流電位を与えるための電圧印加手段と、各梁に交流信号を入出力するための各梁に設けた電極4〜9とで構成され、静電力によって各梁1〜3の位置を変化させ、梁1〜3間の容量を変化させる。

第1の梁1および第2の梁2の間に静電力を発生させ、両方の梁を可動させることで、梁1、2が高速に電氣的に結合することができる。また、第2の梁2に対面して配置してある第3の梁3に静電力を発生させ、第1の梁1および第2の梁2に予め近づけておき、第1の梁1および第2の梁2の間の静電力を解除すると第2の梁が第3の梁側に移動して第1の梁および第2の梁の電氣的な結合が解除する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

互いに一定の間隔で配置された第 1、第 2、第 3 の梁と、前記第 1、第 2、第 3 の梁の各々に直流電位を与えて前記第 1、第 2、第 3 の梁に駆動力を印加させる電圧印加手段とを備えたことを特徴とするスイッチ。

## 【請求項 2】

スイッチをオンする場合は、前記電圧印加手段によって前記第 1 の梁および第 2 の梁の間に駆動力を発生させて第 1 の梁と第 2 の梁を接触させて電氣的に結合させ、スイッチをオフする場合は、前記第 2 の梁および第 3 の梁の間に駆動力を発生させて第 1 の梁と第 2 の梁を離間させることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

10

## 【請求項 3】

前記第 1、第 2、第 3 の梁の間隔が所定のアイソレーションを満たす間隔で配置されていることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

## 【請求項 4】

前記電圧印加手段は、前記第 1、第 2、第 3 の梁に直流電位を一定時間印加することを特徴とする請求項 2 記載のスイッチ。

## 【請求項 5】

前記第 1 の梁と第 2 の梁が電氣的に結合してから、前記第 3 の梁を可動させることを特徴とする請求項 2 記載のスイッチ。

## 【請求項 6】

前記梁の形状を変化させることで、梁のバネ定数を変化させることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

20

## 【請求項 7】

前記第 2 の梁の形状を前記第 1、第 3 の梁と比較して小さくしたことを特徴とした請求項 1 記載のスイッチ。

## 【請求項 8】

前記第 2 の梁の形状を前記第 1、第 3 の梁と比較して小さくし、第 1 と第 2 の梁が電氣的に結合した状態において、第 3 の梁に第 1 の梁からの駆動力が印加され、第 3 の梁が第 1、第 2 の梁側に可動することを特徴とした請求項 2 記載のスイッチ。

## 【請求項 9】

前記第 1 と第 2 の梁が電氣的に結合した際に、第 1 の梁の電位と第 2 の梁の電位を入れ替えて、前記第 3 の梁に駆動力を発生させることなく第 3 の梁を可動させることを特徴とする請求項 2 記載のスイッチ。

30

## 【請求項 10】

前記第 2 の梁と第 3 の梁間で高いアイソレーションが必要な場合は、第 3 の梁に駆動力を発生させず、第 3 の梁を可動させないことを特徴とする請求項 2 記載のスイッチ。

## 【請求項 11】

スイッチをオフする場合、前記第 2 の梁および第 3 の梁を結合させることを特徴とする請求項 2 記載のスイッチ。

## 【請求項 12】

第 1 の梁をアンテナ端に接続し、第 2 の梁を入力端子に接続し、第 3 の梁を所定の抵抗値で終端することを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

40

## 【請求項 13】

請求項 1 記載のスイッチを並列に複数個配置することで、所望のインピーダンスを得ることを特徴とするスイッチ。

## 【請求項 14】

請求項 1 記載のスイッチを並列に複数個配置することで、所望の容量を得ることを特徴とするスイッチ。

## 【請求項 15】

前記第 1、第 2、第 3 の梁のいずれかの梁が金属で形成されていることを特徴とする請求

50

項 1 記載のスイッチ。

【請求項 16】

前記第 1、第 2、第 3 の梁が水平方向に配列され、前記第 1、第 2、第 3 の梁のいずれかの梁が水平方向に可動することを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 17】

前記第 1、第 2、第 3 の梁が垂直方向に配列され、前記第 1、第 2、第 3 の梁のいずれかの梁が垂直方向に可動することを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 18】

第 1 の梁とアンテナ端の間、および、第 2 の梁と入力端子間に容量を配置することを特徴とする請求項 12 記載のスイッチ。

【請求項 19】

スイッチを真空中または不活性ガス中で作動させることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 20】

請求項 1 記載のスイッチをアンテナ端に対して対称に複数個配置することを特徴とするスイッチ。

【請求項 21】

前記第 1、第 2、第 3 の梁のうち、隣接する 2 つまたは 3 つの梁を同じ形状に湾曲させたことを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 22】

前記第 1、第 2、第 3 の梁のいずれかの梁の湾曲形状を S 字形とした請求項 21 記載のスイッチ。

【請求項 23】

前記第 1、第 2、第 3 の梁のいずれかの梁の厚みが隣接する梁の厚みと異なることを特徴とする請求項 21 記載のスイッチ。

【請求項 24】

前記駆動力が静電力であることを特徴とする請求項 1 から 23 のいずれかに記載のスイッチ。

【請求項 25】

スイッチが半導体プロセスで形成された請求項 1 から 24 のいずれかに記載のスイッチ。

【請求項 26】

基板上に設置された電極と、前記電極に対して接離可能であり、印加される電圧によって内部応力が変化する可動体を構成要素とする可動電極と、前記電極と可動電極間に静電力を発生させる第 1 の電圧印加手段と、前記可動体に電圧を印加する第 2 の電圧印加手段とを有することを特徴とするスイッチ。

【請求項 27】

前記可動体が高分子ゲルで構成されたことを特徴とする請求項 26 記載のスイッチ。

【請求項 28】

前記可動電極が可動体の表面に導電性材料を形成して構成されたことを特徴とする請求項 26 記載のスイッチ。

【請求項 29】

スイッチをオンする場合は、第 1 の電圧印加手段により可動電極と電極間に静電力を発生させ、第 2 の電圧印加手段により可動体のばね定数が最小になるように可動体に制御電圧を印加し、スイッチをオフする場合は、第 2 の電圧印加手段により可動体のばね定数が最大になるように可動体に制御電圧を印加し、第 1 の電圧印加手段による静電力をオフにすることを特徴とする請求項 26 記載のスイッチ。

【請求項 30】

スイッチが半導体プロセスで形成されたことを特徴とする請求項 26 記載のスイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は電気回路に用いられ、外部から印加した力により電極を機械的に移動させることで信号の通過もしくは遮断を行うスイッチに関するものである。

## 【0002】

## 【従来の技術】

電気回路に用いられるスイッチとして、従来エアーブリッジを使用したものが知られている。図16において、124は可動するエアーブリッジ、126、128はそれぞれ基板129上に形成された電極で、電極126、128とエアーブリッジ124間に生じさせた静電力によってエアーブリッジ124が電極126または128側に水平移動する。エアーブリッジ124に信号を入力させれば、エアーブリッジ124と電極126または128間が電氣的に接続され、信号が遮断または通過して、スイッチとして動作させる（例えば特許文献1参照）。

## 【0003】

また、図17に示すようにマイクロエレクトロメカニカルなRFスイッチが知られている。マイクロエレクトロメカニカルなRFスイッチ210は、基板221上に複数の折り返しばね懸架装置222を形成し、その上にマイクロフラットフォーム220を懸架している。このマイクロフラットフォーム220の下に信号線が形成されており、信号線とマイクロフラットフォーム220間に直流電位が印加されると静電力が発生し、フラットフォーム220が信号線に引きつけられる構造を有している。このとき、繰り返しばね構造にすることで、梁を構成する材料の残留内部応力の殆どが、ばねの繰り返し部分で解放され、機械応力パンプとして作用する（例えば特許文献2参照）。

## 【0004】

## 【特許文献1】

特開2001-84884号公報

## 【特許文献2】

特開2001-143595号公報

## 【0005】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記特許文献1の構成ではエアーブリッジ124を静電力で駆動する場合、より大きな信号のアイソレーションを実現するには、電極126、128とエアーブリッジ124の間隔を大きくする必要があり、静電力は距離の $-2$ 乗に比例するため、静電力が小さくなり、応答時間が所望の値を達成することはできない。また静電力の減少を補うために印加電圧を増加させる方法もあるが、低消費電力化、低駆動電圧化が要求される無線通信デバイスにとっては印加電圧を増加させることは好ましくない。

## 【0006】

また、エアーブリッジ124は直線の梁構造であるため、引張り応力が梁内部に存在すると強く張った弦のように静電力に対する剛性が高くなり、フルイン電圧（静電力による引き込み電圧）が高くなる。また温度が上昇すると梁の内部応力は圧縮に転じて座屈を起こす可能性がある。すなわち製造工程に起因する残留応力や、スイッチ動作時の環境温度を一定に管理できないと、安定したスイッチの動作特性を保証できなくなる。

## 【0007】

一方特許文献2におけるマイクロフラットフォーム構造では、信号線と結合する領域と、応力を緩和するための折り返しばね懸架構造部（フレクシャ）に分かれている。つまり、内部応力を緩和させるための付加的な構造が設けられている。ニュートンの運動方程式から明らかのように、質量 $m$ を有した構造体に同じ力を加えた場合、構造体に生じる加速度は質量 $m$ が小さいほど大きくなる。このため、上記構造ではフレクシャが付加されているために質量 $m$ が増大しており、応答速度を早くできないという課題を有していた。またフレクシャが柔らかいほどフラットフォーム220は支持部の拘束が緩められるため、膜の厚み方向に応力勾配が存在すると、応力解放によりフラットフォーム220は反り上がり基板221から離れていく。この応力勾配の値を梁の製造工程で精度よく再現できないと

、この反りの度合いがばらつき、フラットフォーム２２０と信号線間の容量減少のばらつきとフルイン電圧増大のばらつきを抑えることができなくなる。また、半導体プロセスを用いて製作すると、梁とフレクシャ構造は同一材料の導電体となることから、高周波回路においてはこのフレクシャ部分の回路インピーダンスが無視できなくなる。

【０００８】

また環境温度が変化すれば、基板材料と梁材料の熱膨張係数の差から、熱応力が発生する。この熱応力の発生原因は前述の製造工程における残留応力とは異なるが、同じ「梁の応力解放に伴う歪み」という現象を引き起こすため、静電容量やフルイン電圧に与える影響を考慮しなくてはならない。

【０００９】

本発明は以上の点に鑑みてなされたもので、応答時間の短縮および印加電圧の低電圧化が実現できるスイッチを提供することを目的とする。

【００１０】

また、フルイン電圧増大のばらつきがないスイッチを実現できるスイッチを提供することを目的とする。

【００１１】

また、梁の内部応力の変化によるスイッチ特性の変化を抑制することができるスイッチを提供することを目的とする。

【００１２】

【課題を解決するための手段】

本発明のスイッチは、互いに僅かに離れた間隔で配置された第１、第２、第３の梁と、前記梁に静電力を印加させるために独立に直流電位を与えるための電圧印加手段と、各梁に交流信号を入出力するための各梁に設けた電極とで構成され、静電力によって各梁の位置を変化させ、梁間の容量を変化させることを特徴とする。

【００１３】

この構成によれば、第１、第２の２つの梁間に静電力を発生させ、第１、第２の梁の両方とも可動させることで、より高速に梁が電氣的に結合することができ、かつ高速にオフさせるために、第２の梁に対面して配置してある第３の梁に静電力を発生させ、第１および第２の梁に予め近づけておくことで、第２と第３の梁間に強い静電力を印加できるため、より高速に応答することができる。

【００１４】

また本発明は、梁に同形状の湾曲を設けることで、梁の内部応力変化に対するフルイン電圧の変化を緩和させるとともに、梁の歪みによる梁間の静電容量変化も緩和させることができる。

【００１５】

これにより、半導体薄膜プロセスを用いて、低電圧、高速駆動であり、かつ残留応力や熱膨張による特性変化の少ない超小型の可変容量型スイッチを構成することを可能とした。

【００１６】

【発明の実施の形態】

本発明の骨子は、静電力によって３本の梁の相対位置を変化させ、梁間の容量を変化させることで、電氣的に結合または遮蔽するスイッチにおいて、各梁を全て可動にすることで、高速にスイッチングかつ低直流電位での制御が可能な構成を実現することである。

【００１７】

また本構造において、スイッチを構成する梁を湾曲構造とすることで、梁の内部応力変化に対するフルイン電圧の変化を緩和させるとともに、梁の歪みによる梁間の静電容量変化も緩和させることである。

【００１８】

以下、本発明の実施の形態について、図面とともに詳細に説明する。

【００１９】

（実施の形態１）

10

20

30

40

50

図1から図8を参照しながら本発明の実施の形態1について説明する。図1に実施の形態1によるスイッチの概略構成図を示す。1は第1の梁、2は第2の梁、3は第3の梁をそれぞれ示す。各梁1、2、3は電氣的信号を損失なく伝達するような形状および材質で形成されており、表面には数10nm程度の絶縁膜が設けられている。各梁1、2、3は例えばAlや銀、銅、合金などの金属からなり、形状は例えば厚み2 $\mu$ m、幅2 $\mu$ m、長さ200 $\mu$ mの両側を固定された両持ち梁構造であり、それぞれ所定のアイソレーションを満たす間隔、例えば、0.6 $\mu$ mの間隔で平行に配置されている。梁1、2、3は必ずしも両持ち梁構造である必要はなく、片持ち梁でもよい。また、梁1、2、3はその形状を変化させることで、梁のパネ定数を変化させることができる。なお、各梁1、2、3は内部応力を可能な限り小さくできる構成およびプロセスを採る。詳細は後述する。

10

【0020】

梁1の両端は電極4、7に、梁2の両端は電極5、8に、梁3の両端は電極6、9にそれぞれ接続されている。

【0021】

以下説明を容易にするために、例えば、電極5を入力端子として入力信号を印加し、電極7を出力端子としてアンテナ端へ接続し、電極9を50 $\Omega$ 終端した場合を例に説明する。図2(a)に接続回路を、図2(b)にその等価回路を示す。以下の説明において、スイッチON時とは図2(a)において電極5と電極7を接続した状態、スイッチOFF時とは図2(a)において電極5と電極7を遮断して電極5と電極9を接続した状態を言う。

【0022】

図2(a)および図2(b)の構成によれば、スイッチOFF時において入力端子からみて50オームに終端されているため反射波が生じない。また、スイッチOFF時において、C<sub>1</sub>のインピーダンスが大きくなり、かつC<sub>2</sub>のインピーダンスが小さくなるため、入力端子から入力した信号は、C<sub>2</sub>および50オーム抵抗を介して接地されるため、アンテナ端としての電極7と入力端子としての電極5間のアイソレーションをより大きくとることができる。この場合、必要に応じて入力信号源と入力端子としての電極5の間、および、出力端子としての電極7とアンテナ端の間に容量を配置してもよい。なお、よりアイソレーションを高くするため、50オーム抵抗を設けずに直接接地してもよい。

20

【0023】

また、電極9を終端しないて他の出力端子に接続し、1入力2出力の分配スイッチを実現することもできる。また、電極5を出力端子、電極7および9をアンテナからの入力端子とすれば2アンテナ入力に対する1出力のセレクトスイッチとすることもできる。

30

【0024】

スイッチング動作について、図8を用いながら説明する。図8(a)は図1におけるスイッチの各電極4～9に電圧が印加されていない状態を示す。次に、入力端子からアンテナ端子に信号を結合させるために、図8(b)において、電極4に接続された制御電圧源10の直流電位を所定の応答時間H<sub>1</sub>に、端子5に接続された制御電圧源11の直流電位および電極6に接続された制御電圧源12の直流電位をそれぞれ所定の応答時間L<sub>1</sub>にすると、梁1と梁2間に静電力が発生するため、梁1と梁2は互いに引き付けあい接触する。

40

【0025】

このとき、梁1と梁2は同じ形状にしておき、パネ定数および質量も同じにしておくと、梁1と梁2は中間地点で接触する。この場合は梁1、2のどちらか一方を固定電極にする場合と比べて、同じ静電力で梁1、2間の距離の変位量が2倍変化するため、より高速での応答が可能となり、また同じ応答時間ならより低電圧での制御が可能となる。たとえば、電極4の直流電位を7.25Vにすれば、応答時間が5 $\mu$ s以下を達成できるが、片側しか可動させない場合は、応答時間が7.4 $\mu$ sになり、およそ1.5倍も応答時間が長くなる。逆に応答時間5 $\mu$ sを達成するためには、印加電圧を10.3Vにしなければならない。

【0026】

50

梁1と梁2が接触すると、入力端子である電極5から入力された交流信号は、各梁1、2の表面に設けられた絶縁膜を介して容量的に結合して梁2から梁1へ伝達され、出力端子である電極7へ出力される。

【0027】

図3(b)の状態では梁3の電極6に接続された制御電圧源12の直流電位をHIGHにすると、梁3と梁2間に静電力が発生し、図3(c)のように梁3が梁2の方向に移動する。このとき、梁1、2も同様に梁3方向に移動するが、梁1、2が2本結合しているため、等価的なバネ定数が大きいので移動量は梁3に比べて小さい。ただし電極6に印加する直流電位は梁3がフルインしない電圧以下にする。前記条件であれば、フルイン電圧は6.7V程度となるため、それ以下の電圧を印加すると、梁3の最大変位量はおよそ0.15μmとなり、梁2、3間の最大ギャップは0.75μmとなる。静電力は距離の2乗に反比例するため、梁3が移動しない場合よりも、梁3と梁2間に発生する静電力は1.4倍も大きくなる。

【0028】

なお、図3(b)の状態から電極6に直流電位を印加するのではなく、電極4と電極5の直流電位を瞬時に反転させてもよい。そうすれば制御電圧源12により新たに直流電位を印加させることなく梁3と梁2間に静電力を発生させることができる。このとき梁2と梁3のギャップが大きいのでフルインすることはない。

【0029】

また高いアイソレーションが要求される状況では、制御電圧源12の直流電位をLOWの状態のままにしておけば梁3は可動しないので、梁2、3間のギャップを大きくしたままの状態を保つことができ、梁2と梁3の電氣的結合を小さくすることができる。

【0030】

次に電極7への回路を遮断して入力信号をアンテナ端である電極7から電極9に切り替えるスイッチOFF動作について説明する。

【0031】

図3(c)の状態において電極4に印加されている直流電位をHIGHからLOWにすると、梁1、2間には静電力が生じないため、図3(d)のように、梁1および梁2は自身のバネ力でもとの位置に復元する。このとき、梁3は予め梁2の方向に進んでいるので、梁2は図3(e)のように梁2、3間に生じている静電力によって強く高速に梁3方向に移動し梁3と接触する。梁2と梁3が接触すると、入力端子である電極5から入力された交流信号は、各梁2、3の表面に設けられた絶縁膜を介して容量的に結合して梁2から梁3へ伝達され、電極9へ出力される。

【0032】

このように、スイッチOFF時に梁2および梁3を結合させると、図2(b)においてC2が短絡されC1に信号が伝達しにくくなるため、より高いアイソレーションを確保することができる。

【0033】

梁3を予め梁2方向に進ませておかない場合は、最大ギャップが0.9μmとなるため、より高い電圧を印加しなければ所望の応答時間を得ることができない。

【0034】

なお、図3(e)の状態では、さらに図3(c)の場合と同様に電極4に直流電位を印加し、梁1と梁2間に静電力を印加させれば、図3(f)のように梁1は梁2方向に進み、最大ギャップを小さくすることができる。

【0035】

上記スイッチ動作をすることにより、ON状態およびOFF状態の時に、信号が印加する梁2は常に別の梁1または3と接触し、ラッチされた状態になっている。このことにより、仮に大電力の信号が梁2に入力された場合、ラッチされていない状態であれば、梁2は信号自身の静電力により梁1もしくは梁3に引き込まれる可能性があるが、梁2は常に梁1または梁3によりラッチされているため誤動作することを防止できる。



## 【0036】

以上の説明においては、各梁1、2、3は静電力により水平方向に可動する場合について説明したが、各梁1、2、3を垂直方向に配列して垂直方向に可動させるようにしてもよい。また、駆動力に静電力を用いているが、例えば電磁力、圧電、熱などを用いてもよい。また、各梁1、2、3は空気中で作動させる以外に真空中や不活性ガス中で作動させてもよい。

## 【0037】

つぎに、図1におけるスイッチを製造する工程の一例を図4の工程断面図を用いて説明する。図4(a)において、高抵抗シリコン基板41を熱酸化すると、基板41上に300nm程度の膜厚のシリコン酸化膜42が形成される。その上に、シリコン窒化膜43を減圧CVD法を用いて200nmの膜厚で堆積する。さらにシリコン酸化膜44を50nmの膜厚で減圧CVD法を用いて堆積する。

10

## 【0038】

つぎに、図4(b)において、シリコン酸化膜44にフォトリソットからなる犠牲層を膜厚2μmでスピンコート、露光、現像したのち、ホットプレートで140℃10分のベークを行うことで犠牲層45を形成する。

## 【0039】

しかる後、図4(c)に示すように、基板全面にAl層46をスパッタにより2μmの膜厚で堆積し、所定の領域にレジストが残るようにフォトリソットによるパターン47の形成を行う。

20

## 【0040】

次に、図4(d)に示すように、前記フォトリソットからなるパターン47をマスクとしてAl層46のドライエッチングを行って梁48を形成し、さらに酸素プラズマによりフォトリソットからなるパターン47および犠牲層45を除去する。以上の工程により、基板41の表面に対して間隙49を有する梁48が形成される。

## 【0041】

さらに、図4(e)に示すように、梁48の全面および基板表面のシリコン酸化膜44上にプラズマCVDによりシリコン窒化膜50を膜厚50nmで堆積すると、基板表面のシリコン酸化膜44上および梁48の周辺にシリコン窒化膜50が形成される。

## 【0042】

最後に図4(f)に示すように、シリコン窒化膜43を異方性を有するドライエッチング法にて前記堆積膜厚以上の膜厚例えば100nmでシリコン酸化膜44と選択比を有する条件でエッチバックすることにより、上面にはシリコン窒化膜50がなく側面にのみシリコン窒化膜50が残るようにエッチングをおこない、梁51を形成する。

30

## 【0043】

なお本実施の形態では基板として、高抵抗シリコン基板41を用いたが、通常のシリコン基板、化合物半導体基板、絶縁材料基板を用いても良い。

## 【0044】

また、高抵抗シリコン基板41上に絶縁膜としてシリコン酸化膜42、シリコン窒化膜43、シリコン酸化膜44を形成したが、基板の抵抗が十分高い場合これら絶縁性膜の形成を省略しても良い。また、シリコン基板上にシリコン酸化膜42、シリコン窒化膜43、シリコン酸化膜44と3層構造の絶縁膜を形成したが、シリコン窒化膜43の膜厚が梁上に堆積するシリコン窒化膜と比較して十分厚い膜厚、いわゆるエッチバック工程を経ても消失しない膜厚である場合、シリコン酸化膜44形成工程は省略することが可能である。

40

## 【0045】

なお、本実施の形態では梁を形成する材料としてAlを用いたが、他の金属材料、たとえば、Mo、Ti、Au、Cu、あるいは、高濃度に不純物導入されたアモルファスシリコンのような半導体材料、導電性を有する高分子材料などを用いても良い。さらに成膜方法としてスパッタを用いたがCVD法、メッキ法などを用いて形成しても良い。

## 【0046】

50

### (実施の形態2)

つぎに、図5を参照しながら第2の実施の形態について説明する。本実施の形態は基本的には第1の実施の形態と同様な構成をとっているが、第2の梁32は第1の梁31、第3の梁33と比べて厚さが薄く、例えば第2の梁にくらべて、第1の梁と第3の梁が1.5倍以上厚く形成される。この実施の形態では、第1の梁31と第2の梁32が接触した際にも、第1の梁31および第2の梁32間に作用する静電力34の他に、第1の梁31と第3の梁33間にも静電力35が作用する。このような構成をとれば、第1の実施の形態のように、第1の梁31と第2の梁32が接触したあとに、電極6に新たに直流電位を印加しなくても、第3の梁33が第2の梁32の方向に移動することになる。

【0047】

またその際、少しでも第1の梁31を第3の梁33方向に近づけるため、第2の梁32のバネ定数を大きくし、第1の梁31と第2の梁32が中間地点ではなく、より第2の梁32側で接触する構成をとってもよい。

【0048】

### (実施の形態3)

つぎに、図6および図7を参照しながら第3の実施の形態について説明する。本実施の形態では、図6に示すように図2(a)のスイッチ回路をアンテナ端子65に対して対称に複数(図6では4個)配置する。これにより、1つのアンテナに対する入力を複数に分配して多出力が可能となる1入力多出力スイッチを実現することができる。このような構成のスイッチは、図7に示すように、実施の形態1で用いたスイッチをアレイ化して各々を容量的に結合して構成することができる。なお、図7にはスイッチ回路が2つの場合を示す。図7において、電極71に複数の梁74が櫛歯状に形成され、各梁74の間に梁75が設けられている。梁75にはそれぞれ複数の電極72に結合されている。電極72に対向して電極73が設けられている。電極71には制御電圧源76、電極72には制御電圧源77、電極73には制御電圧源78がそれぞれ接続されている。

【0049】

電極71に接続された制御電圧源76の直流電位をHIGHに、電極72に接続された制御電圧源77の直流電位および電極73に接続された制御電圧源78の直流電位をそれぞれLOWにすると、梁74と梁75間に容量結合79が発生し、スイッチ動作をする。

【0050】

実施の形態1のスイッチにおいて早い応答時間が要求される場合は、可動する梁の質量が小さいことが必要となる。しかし、容量的に結合する実施の形態3におけるスイッチでは、梁の質量を小さくすれば、容量結合する断面積も小さくなるため、結合度が小さくなり、通過損失が大きくなる。このため応答時間と通過損失の2つの相反する特性を両立するために、個々の梁を微小にして、応答時間を小さくし、その梁をアレイ化することで、スイッチ全体の結合度を大きくして、応答時間と通過損失の2つの特性を満たしている。例えば個々の梁の形状を幅2.5 $\mu\text{m}$ 、厚み2.5 $\mu\text{m}$ 、長さ380 $\mu\text{m}$ とした場合、交流信号の周波数が5GHzの場合、スイッチを5組並列に配置すれば、良好な通過特性が得られる。

【0051】

本実施の形態では、容量結合であるため周波数特性を有する。図2の等価回路で示した直列側のスイッチの容量を $C_1$ 、対接地の容量を $C_2$ とすると、インピーダンス $Z$ は(数1)で表される。 $C_1$ と $C_2$ は基本的に同じスイッチを用いており、 $C_1$ と $C_2$ の関数は(数2)で表される。 $\alpha$ は容量の変化比を示し、梁間のギャップと絶縁体膜の比そのものである。

【0052】

【数1】

$$Z = \left| \frac{\omega C_1}{1 - \omega^2 C_1 C_2} \right|$$

【0053】

【数2】

$$C_2 = \alpha C_1$$

【0054】

$\alpha$ を大きく採れば、駆動電圧が大きくなり、応答時間も大きくなるため、あまり大きくすることができない。例えば絶縁体膜を10nm、ギャップを0.6 $\mu$ mとすると、 $\alpha$ は60となる。

【0055】

アイソレーションを確保するために、インピーダンスが最大となる条件は、(数3)で示され、 $C_1$ は以下のように示される。 $\alpha$ を60とし、適用周波数を5GHzとすると、 $C_1$ は4.2pFとなる。これを梁の形状に置きなると、厚み2.5 $\mu$ m、幅2.5 $\mu$ m、長さ380 $\mu$ mの梁を5組を選択して用いればよい。

【0056】

【数3】

$$C_1 = \sqrt{\frac{1}{\alpha \omega^2}}$$

【0057】

また周波数が1GHz区の信号を扱う際には、周波数が1/5になるので適用する梁の数を5倍の25組にすれば、5GHzと同等な特性が得られ周波数特性を有さないスイッチを実現することができる。

【0058】

本実施の形態によれば、スイッチを並列に複数個配置することによって、所望のインピーダンスまたは容量を有するスイッチを実現することができる。

【0059】

(実施の形態4)

つぎに、図8から図12を参照しながら本発明の実施の形態4について説明する。図8(a)は、本発明の実施の形態4に関わるスイッチの斜視図、図8(b)は平面図である。第1の梁81、第2の梁82および第3の梁83は、それぞれその両端をアンカー部84、85により基板(図示せず)上に固定された両持ち梁であり、厚み $t_1 = t_2 = t_3 = 2\mu$ m、幅 $W_1 = W_2 = W_3 = 2\mu$ m、長さ $L = 500\mu$ mである。梁の材料としてはヤング率77GPaのAlを用いている。各梁81、82、83は $g = 0.6\mu$ mの間隔をもって並列に配置されている。隣接する梁の対向する側面には約0.01 $\mu$ mの絶縁層が形成されており、これは梁の幅に比べて充分小さいため、梁の機械的特性に影響は少ない。なお、絶縁膜は対向する側面のどちらか一方でもまた双方に形成されていてもよい。

【0060】

図8(b)に示すように、スイッチの上方から見ると、梁81、82、83はS字型に湾曲しており、例えば(数4)の正弦関数1周期でS字を表現している。

【0061】

【数4】

$$y = \Delta y \sin\left(2\pi \frac{x}{L}\right)$$

## 【0062】

ただし図8(b)は、分かりやすくするために、湾曲を誇張して描いてある。梁にはX方向の内部応力 $S_X$ とY方向の内部応力 $S_Y$ がX、Y、Zの位置に依存せず一様に存在する。また $S_X = S_Y = S$ と等方性の内部応力である。正確には、半導体プロセスを用いて製作する梁は犠牲層の上に形成されるものであり、そのとき内部応力 $S$ を有するが、犠牲層を除去することによってこの応力 $S$ は若干解放された値をとる。

## 【0063】

図8の構成で第1の梁81と第2の梁82の間に電位差を与えて両者を静電力により寄せたとき、内部応力 $S$ とフルイン電圧の関係は図9のようになる。湾曲の大きさ、すなわち(数4)の $\Delta y$ の値が2、4、6 $\mu\text{m}$ の場合を比較している。また、 $\Delta y = 0$ 、すなわち湾曲を持たない直線の梁構造の場合も併せて示した。ただし圧縮応力がかかると座屈を生じるので、応力 $S$ はプラスの範囲、すなわち引張り応力の時の値のみ示している。このように、明らかに湾曲を与えるだけで、内部応力 $S$ の増加によるフルイン電圧の増加を抑制することができ、これは湾曲の大きさ、すなわち $\Delta y$ の値を大きくするほど抑制効果は大きい。

## 【0064】

次にS字の効果を検証するために、湾曲をアーチ型とした場合を説明する。アーチ型の湾曲は(数5)の正弦関数半周期で近似した。 $\Delta y = 4\mu\text{m}$ とした場合の、内部応力 $S$ とフルイン電圧の関係を併せて図9に示す

## 【0065】

## 【数5】

$$y = \Delta y \sin\left(\pi \frac{x}{L}\right)$$

## 【0066】

明らかにアーチ型の場合は、 $S = 0 \sim 80\text{MPa}$ では、 $\Delta y = 2\mu\text{m}$ のS字型よりもフルイン電圧が大きくなり、 $80\text{MPa}$ 以上の領域ではやがて漸近する。 $S = 0 \sim 10\text{MPa}$ の範囲では、むしろ直線梁よりもフルイン電圧は大きくなる。ただし、 $S = 20 \pm 10\text{MPa}$ 近傍ではほぼフルイン電圧は一定となるので、この範囲に残留応力のばらつきを抑えることができればフルイン電圧の変動は小さくおさえることができるという利点を有する。

## 【0067】

次に、隣接する梁に同じ湾曲を設けることで、内部応力による梁の変形に対して、隣接する梁間の静電容量の変化を抑制することができることを示す。図10は、隣接する梁間の電位差を0Vのときの内部応力 $S$ と静電容量の関係を表すものである。湾曲の度合いの異なる3つのS字と、アーチ型についてプロットすると、曲線Wのように4本とも重なっていることがわかる。したがって、アーチ状でもS字状でも内部応力の影響を受けずに静電容量がほぼ一定に保たれる特長が観察される。すなわち梁の内部応力が製造工程によるばらつきや、周囲温度の変化に伴う熱膨張により変化しても、容量性結合タイプのスイッチとしての電気的特性のばらつきを抑えることができる。

## 【0068】

なお、梁81、82、83は同じ湾曲形状としていることから同じ機械的なね特性を有し、例えば梁81、82間に電位差を与えると、両者は同じ量の変位をおこし、両者間ギャップの1/2の位置で接触する。例えば、この接触位置を梁81側に近づけるには梁81の剛性を高めればよく、その第1の方法として梁81の幅 $W_1$ を太くすることが考えられ

る。 $\Delta\gamma = 2\mu\text{m}$ の8字梁81、82において、 $W1 = 4\mu\text{m}$ 、 $W2 = 2\mu\text{m}$ とした場合、梁81、82間の電位差 $V = 0$ のときの梁の内部応力と両梁間の静電容量の変化を図10に曲線×（\*プロット）で示す。このように梁81を太くすることで、残留応力による歪み方が梁82と異なるため、両者間の静電容量は大きく変化してしまう。梁81の剛性を高める究極の形態は梁81を固定電極とすることであるが、このとき内部応力の変化により静電容量はますます変化してしまう。

【0069】

両梁の接触位置を制御する別の方法として、例えば梁81の厚み $t1$ を梁82の厚み $t2$ よりも厚くする方法がある。 $t1 = 4\mu\text{m}$ 、 $t2 = 2\mu\text{m}$ とした場合、梁81、82間の電位差 $V = 0$ のときの梁の内部応力と両梁間の静電容量の変化を図10に曲線 $\times$ （ $\Delta$ プロット）で示す。幅を太くする方法と異なり、明らかに厚みを大きくすることで内部応力の影響を受けずに静電容量をほぼ一定に保つ効果を得る。

【0070】

このような構造を有するスイッチの製造方法の一例を図11に示す。図11は図8（b）のA-A'断面であり、基板90上に絶縁膜91、犠牲層92、フォトリソグラフィによりパターンニングされたレジスト86が形成され、パターンニングされたレジスト86の間に電解メッキにより金属梁81、82、83が形成される状態を示している。梁81、83のシードレイヤー87は接地されているが、梁82のシードレイヤー88は時刻Tまでは接地、時刻Tからはメッキに用いるアノード電位 $V$ と同じにするようにスイッチ89を制御する。98はアノード電位 $V$ を与えるアノード電極である。このような電解メッキ行程を用いることで時刻Tまでは梁81、82、83は同じ高さの金属層として生成されるが、時刻T以降は梁82のメッキは生成されなくなる。従って隣接するが厚みの異なる梁を生成することができる。

【0071】

このように可変容量構造を構成する梁自身にわずかな湾曲を設けるだけで、細線梁構造で問題となる、残留応力や熱膨張によるフルイン電圧や静電容量などの特性変化を抑制することができる。また、例えば電極の長さ $L = 500\mu\text{m}$ に対して湾曲度合いの大きさは数 $\mu\text{m}$ 程度であるので、この梁自体の抵抗成分もほぼ直線梁と同一である。また、梁構造以外のフレクシャ構造などを設ける必要がなく、素子の微小化を妨げることはない。さらに半導体薄膜プロセスで作製するにあたり、湾曲はマスク描画で決定されるため作製が容易である。

【0072】

湾曲構造を用いたスイッチは、広く可変容量型素子として他のデバイスにも転用可能である。例えば梁をその横振動の共振を用いた機械共振器とし、大気中のある種のガス成分に対してのみ梁表面への吸着性を高めるように梁の表面処理を施せば、ガスの付着により梁の質量が変化し、共振周波数が変化するので、ガス濃度センサとして利用することが可能である。この場合、仮に直線両持ち梁の共振器と隣接する固定電極とで構成すると、製造工程に起因する梁の残留応力のばらつきや周囲温度変化により梁の内部応力が変化した場合、共振周波数が大きく変化してしまうことが問題となるが、実施の形態4のように、湾曲形状を有する隣接する可動梁を用いることで、この共振周波数変化を緩和することが可能となる。

【0073】

図9に示した各種梁の湾曲形状をあらわすパラメータを用いて、内部応力と1次共振周波数の関係を図12に示す。図9の内部応力とフルイン電圧の関係の特徴と同様な傾向があらわれ、8字の湾曲度合い（ $\Delta\gamma$ ）を大きくすることで、共振周波数の変化を抑制することが可能となっている。

【0074】

なお、以上の各実施例では第1、第2、第3の3本の梁を使用した場合について説明したが、スイッチを構成する梁が4本以上からなり、このうちの3本の梁が各実施例の動作を行うようにすることもできる。

## 【0075】

## (実施の形態5)

図13は、本発明の実施の形態5に係るスイッチの構成を示す側面図である。図13(a)は電極に電圧を印加していない状態を示し、図13(b)は印加している状態を示している。基板106上に、信号を入力する入力端子に接続された導電性の支柱108および信号を出力する出力端子に接続された導電性の支柱109が植立されている。支柱108、109間には、梁構造の可動電極104が懸架されている。基板106上の支柱108および支柱109の中間位置に固定電極105が設置されており、可動電極104および固定電極105間に静電力を印加させることで、可動電極104を固定電極105方向に移動させる。可動電極104は可動体103上に形成されており、可動体103はICPF(Ionic Conducting Polymer Gel Film)で構成されている。ICPFは図14に示すように印加される電圧によって内部応力が変化するものでこの性質を利用して可動体103のバネ定数を変化させることができる。次に図15によりスイッチ動作について説明する。図15において、上段は可動電極104の位置を示し、下段は可動電極104のバネ定数の時間変化を示す。可動電極104に静電力が印加していない中立の位置をゼロとする。可動電極104と電極105間に静電力を発生させ、可動電極104を電極105側に引き込む際は、可動体103のばね定数が最小になるように、制御電圧107を可動体103に印加する。このときバネ力が最小となっているため、可動体103および可動電極104は静電力によって、バネ力が妨げることなく高速に引き込まれる。

10

20

## 【0076】

次に電極105から可動電極104を引き離す際には、予め制御電圧107によって、ICPFのバネ定数が最大となるような電圧を可動体103に印加しておき、バネ力を最大にしておく。そして可動電極104および固定電極105間の静電力をOFFにすることで、可動体103、可動電極104はバネ力によって高速に所定の位置に復元する。

## 【0077】

一般的に高分子ゲルは制御信号に対する応答時間が数ms程度あるため、高速な応答時間が要求されるスイッチの駆動力としては、高分子ゲルの伸縮を駆動力にすることはできないが、スイッチが保持されている状態に可動体103のばね力を変化させるには十分な応答時間を有する。このように引き込む際と引き離す際に、それぞれ可動体103のバネ力を最適な値にすることで、高速な応答を可能としている。

30

## 【0078】

可動体103に用いた材料はICPF以外に、外部からの制御によって物性値が変化する材料、例えば人工筋肉などに用いられる高分子ゲルや圧電材料でもよい。また可動体を導電性材料で形成すれば、可動電極104と電極105を一体で形成することができる。

## 【0079】

## 【発明の効果】

以上のように本発明によるスイッチは、3つの梁を全て可動とすることで、応答時間の短縮、印加電圧の低電圧化が実現できるという効果を有する。さらに適用周波数に応じて、最適なインピーダンスになるように使用する梁の数を適応的に選択すれば、周波数特性のないスイッチを実現できるという有利な効果がある。また梁を湾曲構造にすることで、内部応力の変化によるスイッチの特性変化を抑制することができるという有利な効果がある。

40

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1によるスイッチの概略構成を示す斜視図

【図2】(a)本発明の実施の形態1によるスイッチの接続回路図

(b)本発明の実施の形態1によるスイッチの等価回路図

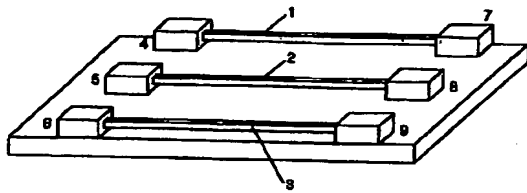
【図3】(a)乃至(f)本発明の実施の形態1によるスイッチの動作を説明する概念図

【図4】(a)乃至(f)本発明の実施の形態1におけるスイッチを製造する工程の一例を示す断面図

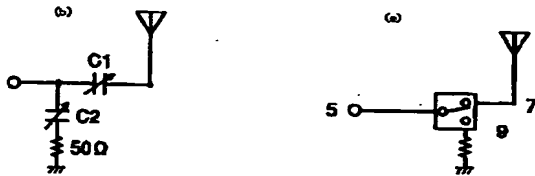
50

- 【図5】本発明の実施の形態2によるスイッチの要部の断面図  
 【図6】本発明の実施の形態3によるスイッチの接続回路図  
 【図7】本発明の実施の形態3によるスイッチの概略構成を示す断面図  
 【図8】(a)、(b)本発明の実施の形態4によるスイッチの概略構成を示す斜視図および平面図  
 【図9】本発明の実施の形態4によるスイッチの梁の内部応力とフルイン電圧の関係を示す特性図  
 【図10】本発明の実施の形態4によるスイッチの梁の内部応力と梁間静電容量の関係を示す特性図  
 【図11】本発明の実施の形態4によるスイッチの製造方法の一例を説明する断面図 10  
 【図12】本発明の実施の形態4によるスイッチの梁の内部応力と梁の一次共振周波数の関係を示す特性図  
 【図13】(a)本発明の実施の形態5によるスイッチの電極に電圧を印加していない状態での概略構成を示す概念図  
 (b)本発明の実施の形態5によるスイッチの電極に電圧を印加している状態での概略構成を示す概念図  
 【図14】本発明の実施の形態5によるスイッチの可動体材料の印加電圧と内部応力の関係を示す特性図  
 【図15】本発明の実施の形態5によるスイッチの制御方法を説明する概念図  
 【図16】従来のスイッチの一例を示す斜視図 20  
 【図17】従来の他のスイッチの一例を示す平面図  
 【符号の説明】  
 1, 2, 3, 31, 32, 33, 81, 82, 83 梁  
 4～9 電極  
 41 高抵抗シリコン基板  
 42 シリコン酸化膜  
 43 シリコン窒化膜  
 44 シリコン酸化膜  
 45 犠牲層  
 46 Al層 30  
 47 フォトレジストによるパターン  
 48, 51 梁  
 49 間隙  
 50 シリコン窒化膜  
 84, 85 アンカー部  
 86 レジスト  
 87, 88 シードレイヤー  
 89 スイッチ  
 90 アノード電極  
 101 入力端子 40  
 102 出力端子  
 103 可動体  
 104 可動電極  
 105 電極

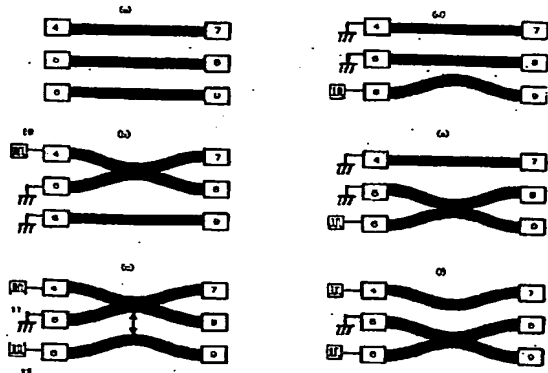
【図 1】



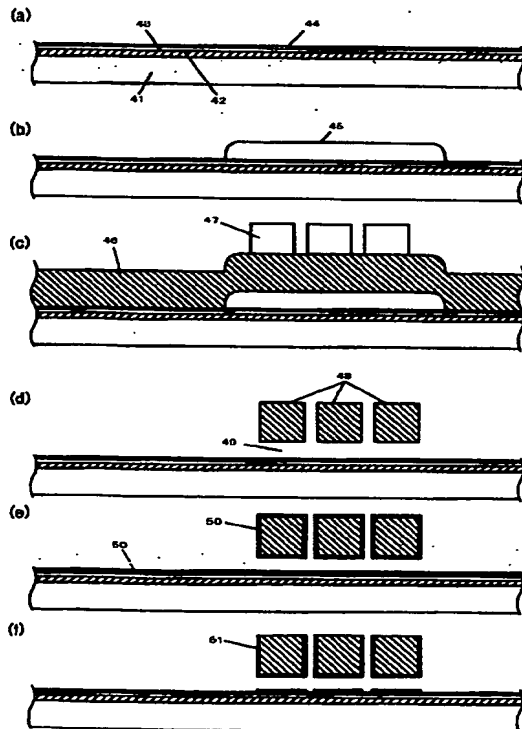
【図 2】



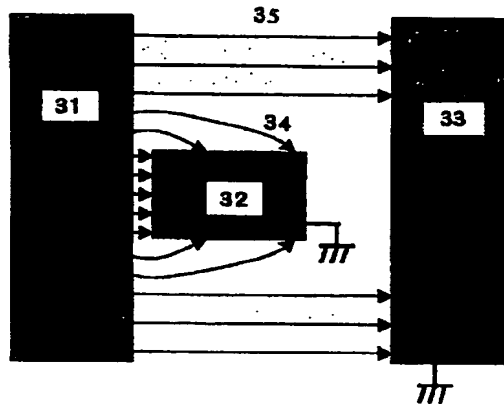
【図 3】



【図 4】



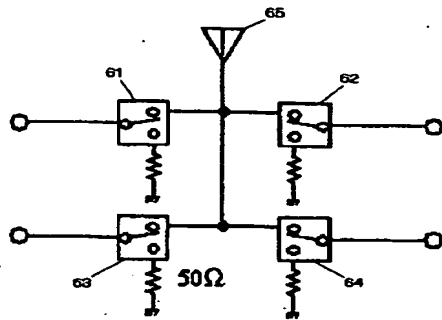
【図 5】



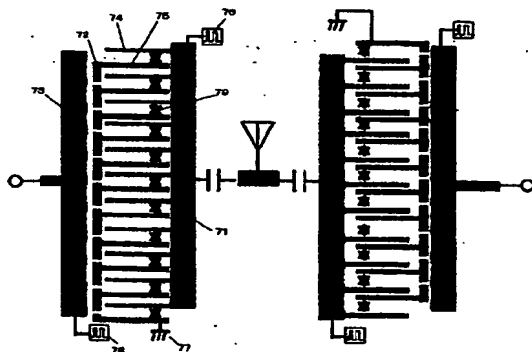
BEST AVAILABLE COPY



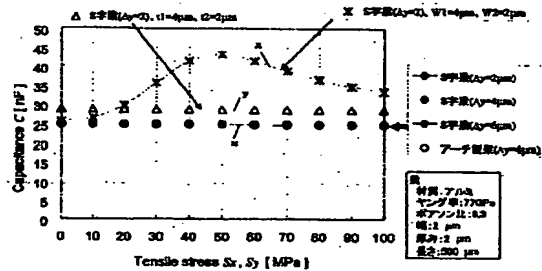
【図 6】



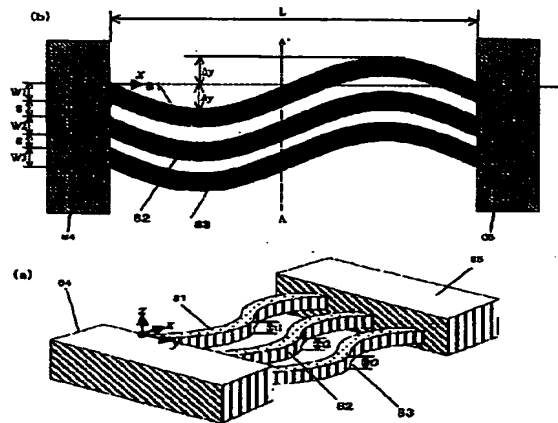
【図 7】



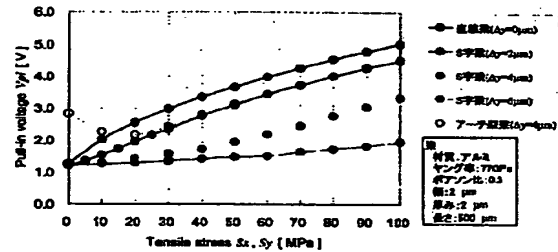
【図 10】



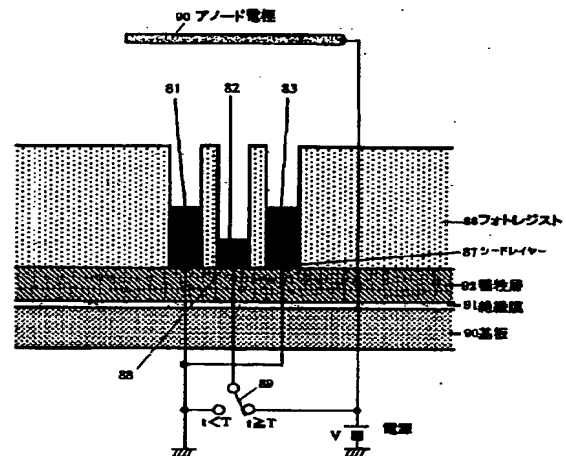
【図 8】



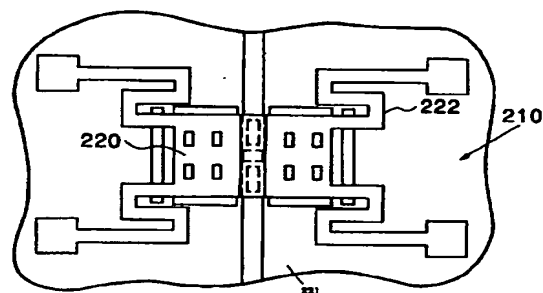
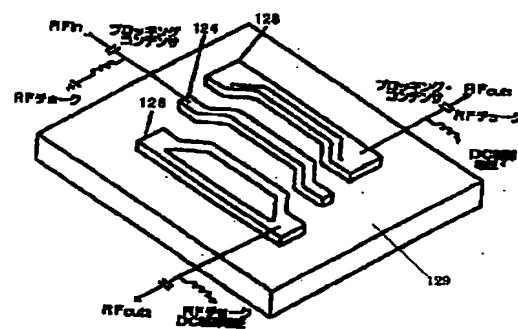
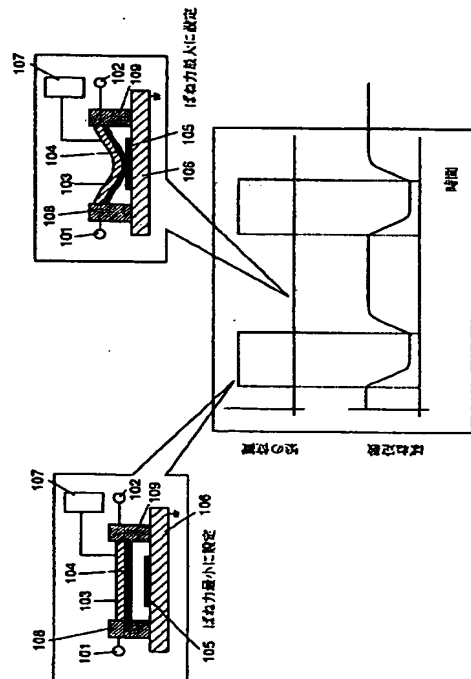
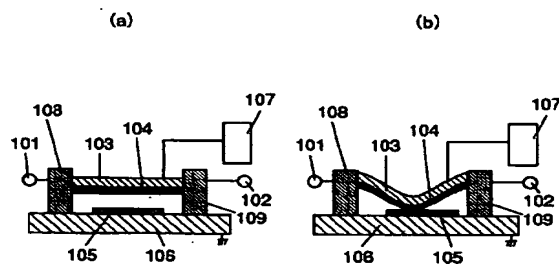
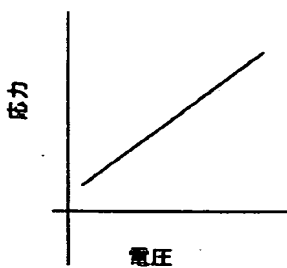
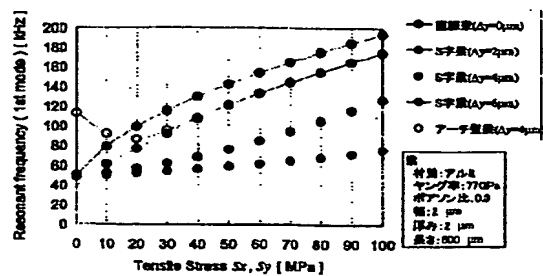
【図 9】



【図 11】



BEST AVAILABLE COPY



---

フロントページの続き

(72)発明者 清水 紀智

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

(72)発明者 内藤 康幸

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内